



Estilo estructural costa afuera de las cuencas Sinú-San Jacinto y Guajira

Abiam Emilio Ramos Lara

Universidad del Norte
Área de Ciencias Básicas, Departamento de Física y Geo-Ciencias
Barranquilla, Colombia
2020

Estilo estructural costa afuera de las cuencas Sinú-San Jacinto y Guajira

Abiam Emilio Ramos Lara

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título

de:

Geólogo

Director (a):

PhD Camilo Montes Rodríguez

Codirector (a):

PhD (c) Jhon Meyer Muñoz Barrera

Universidad del Norte

Area de Ciencias Básicas, Departamento de Física y Geo-Ciencias

Barranquilla, Colombia

2020

Especialmente a mi madre que me tuvo siempre en sus oraciones, a mí padre siempre ha estado con nosotros y debe estar muy orgulloso de sus hijos. A mi abuelo y a mi tía que siempre han estado pendientes de mí y han sido mi mayor apoyo. A mi hermano que me aconsejó que me ayudo siempre que necesité de su ayuda y a mi prima que la quiero como una hermana y siempre ha sido muy especial conmigo.

Agradecimientos

Inicialmente, le doy un especial agradecimiento a mi director y profesor Camilo Montes que me dio la oportunidad de realizar este proyecto de grado, me guio y me aconsejó durante toda la elaboración y además ha sido una gran influencia para mí durante gran parte de mi formación profesional.

A mi co-director Jhon Muñoz, que me apoyó con su conocimiento en geofísica y me enseñó las técnicas necesarias para la interpretación permitiéndome comprender mejor mi trabajo.

Gracias a la Gerencia de Exploración Offshore de ECOPETROL S.A., por proporcionar las líneas sísmicas utilizadas para este trabajo.

A Daniel Bello Palacios y a mi profesor Aldo Rincón por sus recomendaciones y correcciones en este trabajo.

A mis compañeros Daniel Alberto Acosta Beleño, Nicolle Parga Hauzeur y William David Ruedas Polanco por hacer parte de la elaboración del mapa presentado en este trabajo de grado.

Finalmente, gracias a todos los profesores y encargados del departamento de Física y Geociencias que estuvieron presentes durante mi formación, por el acompañamiento que me brindaron durante mi desarrollo profesional e integral.

Resumen

El margen costa afuera del Caribe colombiano se encuentra dominado principalmente por sistemas compresionales y de acreción hacia el sur oeste y por sistemas de transpresión-transtensión hacia la zona norte. Sin embargo, en la zona más septentrional, también se encuentra una deformación similar que en la cuenca Sinú – San Jacinto. Las líneas sísmicas analizadas en este artículo se considera que tienen un estilo estructural en dúplex. Esto debido a la deformación de las capas en anticlinales y sinclinales estrechos divididos por fallas inversas de cabalgamiento. Esto se determinó en base al análisis de dos líneas sísmicas, una ubicada en la cuenca Guajira y la otra en la cuenca Sinú – San Jacinto. La información obtenida de la interpretación de las líneas sísmicas fue complementada con la elaboración de un mapa geológico estructural realizado a partir de una recopilación bibliográfica de artículos con cartografía propia. De esta forma, en base a los resultados y a la distribución de fallas y pliegues del mapa realizado en este trabajo se puede determinar que el margen costa afuera del Caribe colombiano se encuentra dominado por sistemas compresionales con cambios relativos generados por la diferencia en el ángulo de acción de las fallas principales y el movimiento, ángulo y dirección entre las placas Caribe y Sudamericana.

Palabras clave: Costa afuera, acortamiento, líneas sísmicas, dúplex, sistemas de cabalgamiento, fallas inversas, estilo estructural.

Abstract

The offshore margin of the Colombian Caribbean is mainly dominated by compressional and accretion systems to the south west and by transpression-transension systems to the north. However, in the northernmost zone, a similar deformation is also found as in the Sinú-San Jacinto basin. The seismic lines analyzed in this article are considered to have a predominantly duplex structural style. This is due to the predominance of layer deformation in narrow anticlines and synclines divided by reverse thrust faults. This is determined based on the analysis of two seismic lines, one located in the Guajira basin and the other in the Sinú - San Jacinto basin. The information obtained from the interpretation of the seismic lines was complemented with the elaboration of a structural geological map made from a bibliographic compilation of articles with their own cartography. In this way, based on the results and the distribution of faults and folds of the map carried out in this work, it can be determined that the offshore margin of the Colombian Caribbean is dominated by compressional systems with relative changes generated by the difference in the angle of action of the main faults and the movement, angle and direction between the Caribbean and South American plates.

Keywords: Offshore, shortening, seismic lines, duplex, thrust systems, reverse faults, structural style

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VIII
Abstract.....	IX
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas.....	XIII
1. Introducción.....	15
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo general	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
2. Marco geológico.....	18
2.1 Cuenca Sinú-San Jacinto	18
2.1.1 Estratigrafía	19
2.1.2 Evolución tectono-estratigráfica.....	20
2.2 Cuenca guajira	20
2.2.1 Estratigrafía	20
2.2.2 Evolución tectono-estratigráfica.....	23
3. Metodología.....	27
3.1 Interpretación de líneas sísmicas	27
3.2 Creación del mapa geológico estructural.....	29
4. Resultados.....	30
4.1 Línea SPAN-2004-4000_psdm_ORIG_VE1	30
4.2 Línea SPAN 2004-2000_psdm_ORIG_VE1.....	43
5. Discusión.....	50
6. Conclusión	52
7. Referencias	54

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Mapa tectónico sobre un modelo topográfico del Caribe colombiano y localización de las líneas sísmicas enlistadas en la tabla 1.....	16
Figura 2: Naturaleza de la terminación de reflectores en los límites de unidades de facies sísmicas.....	28
Figura 3: Línea SPAN 2004-4000 psdm ORIG VE1. A) Línea sísmica sin interpretar con las zonas de interés enmarcadas en cuadros negros. B) Línea sísmica interpretada.....	31
Figura 4: Primera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	35
Figura 5: Segunda zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	36
Figura 6: Tercera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	37
Figura 7: Cuarta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	38
Figura 8: Quinta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	39
Figura 9: Sexta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	40
Figura 10: Séptima zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	41
Figura 11: Octava zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.	42

Figura 12: Línea SPAN 2004-2000 psdm ORIG VE1. A) Línea sísmica sin interpretar con las zonas de interés enmarcadas en cuadros negros. B) Línea sísmica interpretada.....	43
Figura 13: Primera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada	46
Figura 14: Segunda zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada	47
Figura 15: Tercera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada	48
Figura 16: Cuarta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada	49

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1: Líneas sísmicas analizadas, se resaltan las líneas interpretadas en este trabajo. Las líneas VE1 son las líneas a escala real y las VE2 tienen una exageración vertical $2 \times$	27
Tabla 2: Características de cada una de las facies y secuencias tecno-estratigráficas de la línea SPAN 2004-4000.	32
Tabla 3: Características de cada una de las facies y secuencias tecno-estratigráficas de la línea SPAN 2004-2000.	44

1. Introducción

El área de estudio corresponde al Caribe colombiano desde la alta Guajira hasta el golfo de Urabá (Figura 1). La geología de esta área está dominada por la interacción de la placa Caribe con la placa Sudamericana, donde la placa Caribe genera deformación por transpresión a lo largo de la península de La Guajira, tras su colisión producida en el Paleógeno (Pindell & Kennan, 2009; Sarmiento, 2019). En gran parte de la región Caribe está presente el fenómeno de diapirismo de lodo, especialmente en la zona costera y costa afuera (Aristizaabal et al., 2009; Caro, 1984, Ramírez, 2007; Vernet et al., 1992). Existen varias configuraciones estructurales de importante interés en el margen Caribe costa afuera. Entre estos se encuentra el Cinturón Deformado del Sur del Caribe (SCDB) que es producto de la deformación por deslizamiento dextral y la subducción relacionada con la colisión oblicua, en dirección ESE-WNW, entre la placa suramericana y la placa caribe (Rollins, 1965; Mantilla et al., 2013), que afecta a todas las secuencias sedimentarias de la parte costa afuera del Caribe Colombiano. Hacia el norte de Colombia, la cuenca Guajira está altamente influenciada por la acción de dos fallas de deslizamiento dextral, Oca y Cuiza que cuentan con una extensión regional de miles de kilómetros (Ramírez, 2006). Estas fallas producen múltiples estructuras horst y grabbens modificando significativamente la geomorfología de la alta Guajira. La cuenca Sinú-San Jacinto por otro lado, se puede dividir de sur a norte como una zona de acreción seguida por una zona de transpresión-compresión (Ruiz et al., 2000). Esta área se encuentra dominada por fallamiento de alto ángulo y presenta basamento continental hacia el este y basamento oceánico hacia el oeste.

Dada la complejidad geológica de la zona de estudio este trabajo busca analizar mediante el uso de líneas sísmicas y un mapa geológico estructural como es realmente el estilo estructural del Caribe colombiano. Por ejemplo, en la cuenca Guajira, Mantilla et al. (2013) menciona seis eventos regionales: (1) Extensión y apertura del proto-caribeño

(Jurásico – Cretácico temprano); (2) Deposición sedimentaria dentro del margen pasivo (Cretácico tardío); (3) Interacción entre la placa Caribe y Suramericana con acreción de tierras oceánicas (Cretácico tardío – Paleógeno); (4) Evento de deformación orogénica del Guajiro y Guarao (Eoceno tardío – Oligoceno temprano); Paraconformidad de estratos causada por cambio de estratos (Oligoceno tardío – Mioceno temprano); (6) Evento de deformación (Mioceno tardío – Plioceno). Esta cantidad de eventos durante el tiempo geológico se traduce en una variedad de provincias geológicas y estilos estructurales que otorgan una alta complejidad geológica a esta área. Esto mismo ocurre con las distintas partes del margen Caribe Colombiano haciendo difícil la tarea de establecer un estilo estructural para todo el margen, siendo posible sólo ver que tendencias predominan dentro de un análisis de datos significativo. Este trabajo se considera uno del pequeño paso para lograr este propósito.

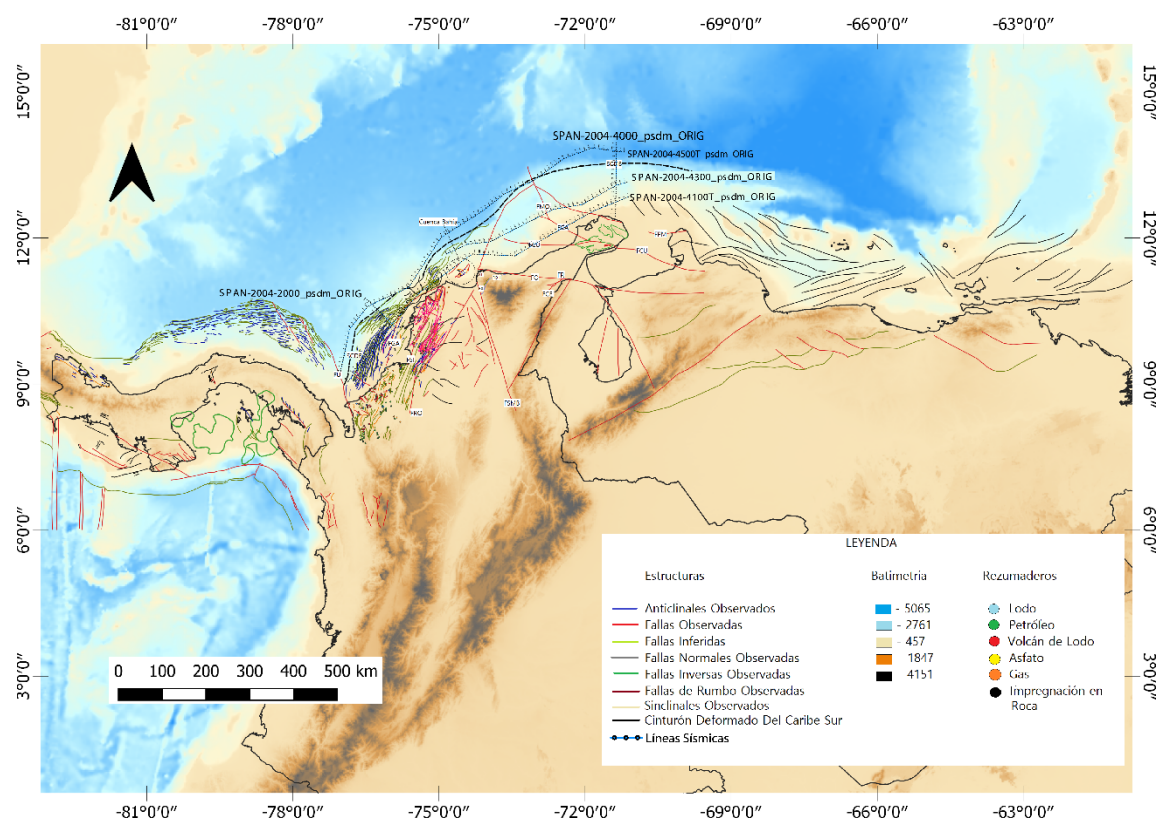


Figura 1: Mapa tectónico sobre un modelo topográfico del Caribe colombiano y localización de las líneas sísmicas enlistadas en la tabla 1.

1.1 Planteamiento del problema

El margen costa afuera del Caribe colombiano es un área con una alta complejidad geológica y estructural producto de la interacción entre la placa Caribe y la placa Suramericana, así como la ocurrencia de múltiples eventos tectónicos a lo largo del tiempo geológico que han generado diferentes provincias y estilos estructurales (Matilla, 2013). Por esta razón, no se ha terminado de comprender a gran escala la naturaleza de su deformación y dinámica. Adicionalmente, el área de estudio tiene un interés en la prospección de hidrocarburos, pero solamente se ha podido extraer gas biogénico por la falta de estudios (Rodríguez & Severiche, 2017; Ramírez, 2006). Estos dos factores de complejidad e interés económico requieren cierto grado de entendimiento del margen costa afuera del Caribe Colombiano y esto plantean la necesidad de identificar mejor las estructuras relacionadas a esta área y el estilo estructural dominante.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar una caracterización del estilo estructural en el margen costa afuera del Caribe colombiano mediante la interpretación de líneas sísmicas y la elaboración de un mapa geológico estructural.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar e interpretar las líneas sísmicas SPAN-2004-2000_psdm_ORIG_VE1 y SPAN-2004-4000_psdm_ORIG_VE1 teniendo en cuenta las líneas de rumbo.
- Digitalizar la mayor cantidad posible de artículos científicos confiables sobre el margen sur del Caribe para incluirlos en el mapa estructural.
- Realizar una revisión bibliográfica para hacer una comparación con nuestros resultados y concluir un estilo estructural.

2. Marco geológico

La geología de la región del sur del Caribe está dominada principalmente por la interacción de la placa Caribe y la placa Sudamericana. Durante el Paleógeno, la placa Caribe tuvo un cambio de dirección abrupto, dejando de moverse hacia el norte para comenzar su movimiento hacia el este (Pindell & Kennan, 2009). Esto generó una colisión que produjo una deformación por transpresión a lo largo del norte de Colombia y gran parte de Venezuela que se mantiene hasta el presente (Sarmiento, 2019).

El mapa geológico estructural cubre todo el margen costa afuera del Caribe colombiano desde Venezuela hasta Panamá. El golfo de Venezuela contiene información importante del Paleógeno y una historia estructural reciente bastante compleja que involucra una falla de rumbo dextral relacionada con fallas escalonadas Neógenas que buzcan NW-SE (Benkovics & Asensio, 2015; Escalona & Mann, 2006). También hay ciertos factores importantes en la evolución del Caribe colombiano como lo es la rotación horaria de 30° del eje vertical del macizo de Santa Marta, que explica 115 km de extensión a lo largo del eje de la cuenca Plato-San Jorge (Montes et al., 2010).

2.1 Cuenca Sinú-San Jacinto

Está ubicada hacia la franja noroeste de Colombia y está conformada por el cinturón plegado del Sinú (CPS) y el cinturón plegado de San Jacinto (CPSJ). La cuenca se encuentra

limitada por el Cinturón Deformado del Sur del Caribe (SCDB) al noroeste, por la Cordillera Occidental al sur, por el sistema de fallas de Romeral (RFS) al oeste y por el sistema de fallas Uramita (UFS) al sureste. Puede dividirse en dos áreas, una “zona de acreción” (hacia el sur) y una “zona de transpresión-transtensión” (hacia el norte) (Ruiz et al., 2000). Esta área se encuentra dominada por fallamiento de alto ángulo y presenta basamento continental hacia el este y basamento oceánico hacia el oeste. Presentando estructuras similares, la zona de acreción se formó en el Neógeno y está conformada por un prisma de acreción ubicado en el talud y una cuenca de ante-arco ubicada en lo que es ahora la plataforma continental (Aguilera, 2011).

2.1.1 Estratigrafía

La base de la cuenca está conformada por lodolitas calcáreas, chert y areniscas cretácicas de la Formación Cansona, que se encuentran discordantes contra el basamento oceánico compuesto de rocas intrusivas máficas (Guzmán, 2004; Flinch, 2003).

Cinturón de Sinú

Al este del cinturón de San Jacinto se encuentra paralela la estructura general del cinturón de Sinú cruzando hacia el noreste en el área de Cartagena – Barranquilla siguiendo la línea de costa (Duque-Caro, 1978). Con una edad que van generalmente de Mioceno tardío a Plioceno está caracterizado principalmente por una secuencia turbidítica y monótona de sedimentos muy finos. A esta secuencia la subrayase una facies de carbonatos de ambiente poco profundo, que datan del Pleistoceno – Holoceno, compuesta por calizas arrecifales. shales, areniscas y conglomerados (Duque-Caro, 1980).

Cinturón de San-Jacinto

Está ubicado adyacente a la plataforma y subdividido por tres anticlinorios: San Jerónimo. San Jacinto y Luruaco (Duque-Caro, 1980). Su núcleo está compuesto por rocas

pelágicas como limolitas, cherts e intercalaciones muy meteorizadas de flujos basálticos y diabásicos formadas en el Cretácico tardío. (Duque-Caro, 1980). Se encuentran secuencias de turbiditas y cherts al tope de la secuencia.

2.1.2 Evolución tectono-estratigráfica

La placa proto-caribe subdujo a la placa sur americana a lo largo del margen norte de Colombia, después de la obducción del cretácico superior de la corteza oceánica que se encontraba cubierta por sedimentos cretácicos (Flinch, 2000). Desde ese momento tuvo lugar la acreción con vergencia hacia el oeste a lo largo del margen, migró del este al oeste durante el paleógeno hasta el oligoceno principalmente en la “cuña acrecional interna” que se encuentra expuesta a lo largo de las áreas de Sinú y San Jacinto dentro de costa. Pasando a Neógeno a medida que nos aproximamos costa afuera hacia la “cuña acrecional externa” (Flinch, 2003).

2.2 Cuenca guajira

La cuenca Guajira está localizada en al noreste de Colombia en la península de la Guajira contando su parte costa afuera. Esta cuenca se encuentra altamente influenciada por la acción de dos fallas de deslizamiento lateral derecho de escala regional (Oca y Cuiza) (Ramírez, 2006), que dividen esta cuenca en dos provincias o sub-cuencas: Guajira inferior y Guajira superior (Rubiano et al., 1998) (Figura 2).

2.2.1 Estratigrafía

Esta cuenca presenta un registro incompleto desde el triásico hasta el presente con un total de 9500m de diferente litología. Estas secuencias están depositadas encima de un basamento compuesto por rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas del Triásico, y

metamórficas. Los sedimentos más recientes de la cuenca corresponden a areniscas continentales y conglomerados que se encuentran supra-yacida e infra-yacidas por arenas de playa marina poco profunda (Rollins, 1965). Estas secuencias pertenecen al grupo Cojoró que contiene más de 850m.

La sub-cuenca Guajira inferior está localizada entre la falla de Oca y el sur de la falla de Cuiza está caracterizada por morfología poco variable con rocas del terciario superior, paleógeno tardío, neógeno temprano y el cuaternario reportadas en superficie. Su basamento está compuesto de granito pre-cámbrico, esquistos del cretácico tardío al oeste y traquitas y espilitas al este (Escalante, 2006). Al sureste afloran secuencias de rocas sedimentarias del cretácico y al noreste en la elevación Cocinas se reporta el afloramiento de rocas jurásicas y cretácicas.

La sub-cuenca Guajira superior se encuentran las elevaciones de Jarar, Macuira y Cocinas donde afloran rocas del mesozoico y el terciario (Irving, 1972; Bartok et al., 2015) (Figura 1). Estas están separadas por las depresiones Portete, Cocinas y Chimaré que están compuestas por unidades terciarias que van del eoceno hasta el presente. La estratigrafía Cenozoica de esta sub-cuenca incluye de base a tope las formaciones Macarao, Siamaná, Uitpa, Jimol y Castilletes, con edades que van del eoceno al plioceno tardío (Tabla 1). Su composición litológica consiste en intercalaciones de areniscas, lodolitas, shales calcáreos y calizas. En la base predominan lodolitas y en el tope predominan arenas con finas intercalaciones de caliza en la sucesión somera superior de los depósitos de la plataforma continental (Escalante, 2006).

Basamento

Según Aguilera (2011) el basamento puede dividirse en tres tipos principales. El primero es un cinturón de rocas máficas y ultra-máficas de disposición EW que pueden formar una banda continua de gabros, anfibolitas, serpentinitas, basaltos porfíricos y andesitas basálticas en forma de arco. Estos han sido datados con K-Ar resultando una edad de 74 millones de años (Cardona et al., 2007). El segundo tipo de basamento

corresponde a facies de esquistos verdes y anfibolitas del cretácico que datan entre 110 y 128 millones de años, encontrándose también costa afuera de la sub-cuenca (McDonald et al. 1971). El tercer tipo es un cinturón de granitos con disposición NW que fueron datados en una edad de entre 49-65 a 92 millones de años (Cardona et al., 2007). Este basamento también contiene rocas cretácicas no diferenciadas que consisten en lodolitas intercaladas con arenas y calizas y representan un ambiente marino (Rubiano, 1998).

Formación Castilletes

La edad de esta formación está considerada entre mioceno y plioceno de acuerdo con su posición estratigráfica (Rollins, 1965). En la Guajira superior, está compuesto en la base por areniscas con finas intercalaciones de calizas y en el tope lodolitas intercaladas con areniscas. Mientras que en la Guajira inferior contiene arenas, limos y arcillas intercaladas. Todas estas secuencias fueron depositadas en una sucesión transgresiva de ambientes continentales y marinos (Cerón et al., 2009).

Formación Siamaná

Está compuesta por lodolitas con intercalaciones de arenisca hacia la base y arenisca intercalada con calizas y lodolitas hacia el tope depositados en ambientes de plataforma continental y zona batial superior (Cerón et al., 2009). La Formación Siamaná se divide en dos miembros; el miembro inferior compuesto por conglomerados con guijarros de caliza, cuarzo y rocas metamórficas y el miembro superior está conformado de caliza de coral con cambios comunes a calizas fangosas (Etayo et al., 1983).

Formación Jimol

Los afloramientos de la Formación Jimol se extienden desde la parte media del valle de Siamana hacia el este hacia la llanura costera, donde la Formación se sumerge debajo de la Formación Castilletes, tiene una edad de Mioceno medio y está compuesta de calizas arenosas, areniscas calcáreas y pequeñas cantidades de lodolita (Rollins, 1965).

Formación Uitpa

La Formación Uitpa tiene una edad definida en el mioceno temprano (Rollins, 1965). Su composición litológica en Guajira inferior consiste en shales con intercalaciones menores de areniscas y calizas. En la base contiene algunas capas de caliza de grano fino y biostromos bien desarrollados en la parte media. Esta sucesión está interpretada en su mayor parte como un evento transgresivo que cambia a un evento regresivo en el último tramo de la secuencia (Cerón et al., 2009).

2.2.2 Evolución tectono-estratigráfica

En el contexto tectono-estratigráfico las fallas tienen una tendencia dominante este-oeste y en menor medida norte-oeste paralela a la falla de Oca (Rollins, 1965) (Figura 1). Según Rollins (1965) se identifican tres tipos de fallas en la plataforma: (1) fallas inversas de alto ángulo con tendencia en dirección este; (2) fallas longitudinales de deslizamiento con tendencia este y sureste; (3) fallas oblicuas dextrales con tendencia sureste. La intensidad del fallamiento incrementa hacia el este de la plataforma.

Baja Guajira

Costa afuera, al norte de la depresión Ranchería se encuentra el Cinturón Deformado del Sur del Caribe (o por sus siglas en inglés SCDB), el cual afecta las secuencias sedimentarias con la gran compresión generada tras su Formación. Este cinturón es producto de la deformación de deslizamiento dextral y la subducción relacionada con la

colisión oblicua entre la placa suramericana y la placa caribe (Rollins, 1965; Escalona & Mann, 2011). Al norte de la falla de Cuiza, se encuentra la continuidad de los sistemas de fallas normales que conforman los horst y grabens observados costa adentro (Aguilera, 2011).

Alta Guajira

La sub-cuenca Guajira superior está ubicada al norte de la falla de Cuiza y exhibe una morfología muy variable con dos anticlinales múltiples producidos por estrés tectónico compresional. Su morfología es producto del emplazamiento por la rotación y arrastre de bloque alóctono de afinidad oceánica, que conforma el sector septentrional de la Península de La Guajira (Escalante, 2006).

Costa afuera, se desarrolla la depresión Tairona y según los datos gravimétricos es la continuidad de la parte dentro de costa del depocentro de la Guajira inferior al este (Aguilera, 2011). La mayor parte de la depresión Tairona no está deformada, hasta acercarse al oeste, en el depocentro, donde se desarrolla un sistema de fallas imbricadas orientadas NE-SW pertenecientes al SCDB (figura 1).

3. Metodología

3.1 Interpretación de líneas sísmicas

Las líneas sísmicas enlistadas en la Tabla 1 fueron analizadas con el programa Adobe Illustrator 2019. Durante la primera fase, se marcaron las terminaciones observando donde finalizaba cada reflector, se determinaron las secuencias pre-tectónicas, syn-tectónicas y post-tectónicas y luego se definieron las facies a partir de las secuencias determinadas en cada línea sísmica, organizando la información en las tablas 2 y 3. Las terminaciones se marcaron con flechas de una sola aspa cuya orientación corresponde al lado de mayor ángulo entre la línea de la flecha y la superficie donde termina el reflector. Los sectores donde culminaban o desaparecían muchos reflectores fueron clasificados dentro de los distintos tipos de terminaciones (Figura 1).

Nombre de la línea	Distancia (Km)
SPAN_2004-2000_psdm_ORIG_VE1, VE2	97057
SPAN_2004-4000_psdm_ORIG_VE1, VE2	179696
SPAN_2004-4100_psdm_ORIG_VE2	792723
SPAN_2004-4300_psdm_ORIG_VE2	871764
SPAN_2004-4500_psdm_ORIG_VE2	445224

Tabla 1: Líneas sísmicas analizadas, se resaltan las líneas interpretadas en este trabajo. Las líneas VE1 son las líneas a escala real y las VE2 tienen una exageración vertical $2 \times$.

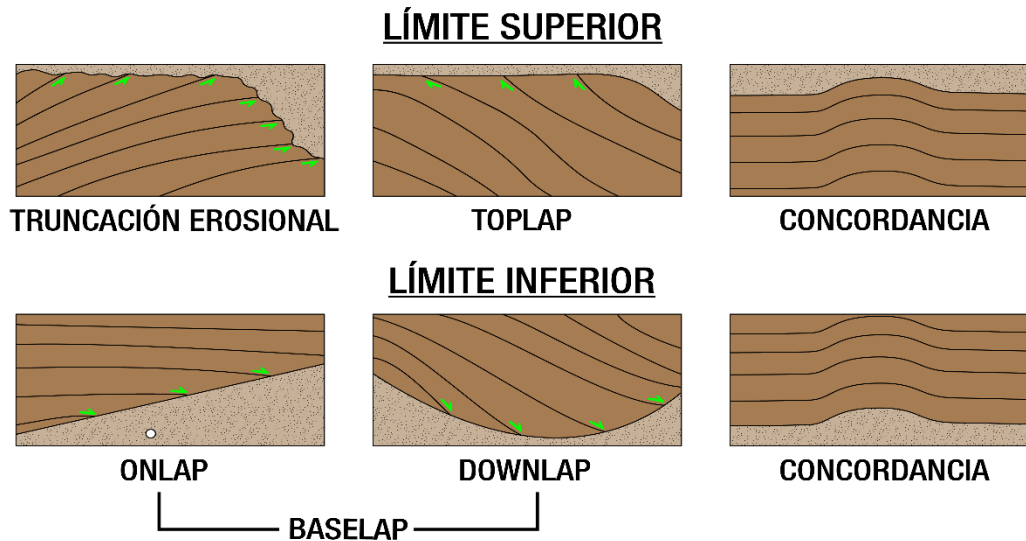


Figura 2: Naturaleza de la terminación de reflectores en los límites de unidades de facies sísmicas

Las secuencias fueron definidas a partir de los siguientes criterios: se clasifican como pre-tectónicas las secuencias que pueden estar plegadas, pero no sufren cambios de espesor a pesar de la deformación suprayacente o circundante, pues estas son las secuencias más antiguas y debieron depositarse antes de que empezara la deformación. Las secuencias syn-tectónicas son las más afectadas por la deformación, debido a que se depositaron al mismo tiempo en que estaba ocurriendo, presentando plegamiento y cambios de espesor. Finalmente, las secuencias post-tectónicas sucedieron después de la deformación, por lo que generalmente son secuencias plano-parallelas, se encuentran rellenando espacios de acomodación y se adaptan a la superficie que les infrayace.

3.2 Creación del mapa geológico estructural

La creación del mapa geológico estructural dividió en dos fases. La primera fase consistía en la búsqueda y recopilación bibliográfica, donde se buscaron artículos aptos con cartografía propia para que fueran parte del mapa y la segunda fase era la digitalización de los mapas extraídos en la primera fase. En la primera fase, se utilizaron artículos que estuvieran publicados en revistas indexadas y que tuvieran preferiblemente mapas coordenados. Estos mapas eran extraídos en formato PNG para ser utilizados en la segunda fase. En la segunda fase, se utilizaron los programas **QGIS** para georeferenciar los mapas y **Google Earth Pro** para digitalizarlos.

Para georeferenciar los mapas en **QGIS** se requiere la instalación del paquete georeferenciador. Este se encuentra en *Plugins* buscando en la barra de búsqueda “*Georeferencer GDAL*”. Después de instalar el paquete, se puede acceder a él desde el apartado de *Raster*. Todas las imágenes de los mapas fueron transformadas al formato TIF para ser importados al programa. Dentro del geo-referenciador, se importa la imagen en *Open raster* y se procede a marcar al menos 3 puntos de intersecciones entre las coordenadas. Separando con espacios los grados, minutos y segundos se digita las coordenadas de cada punto. Luego se ingresa a *Settings > Transformation Settings* para elegir los parámetros de la georreferenciación. En este trabajo se utilizó el tipo de transformación *Helmert*, el método de re muestreo *Nearest neighbour* y el objetivo SRS *EPSG: 4326 – WGS 84*. Estas imágenes procesadas se guardaban y eran introducidas a **Google Earth Pro**, acá se le disminuía la opacidad al mapa para verificar la ubicación con la línea de costa que debía coincidir con la mostrada por el programa. Luego se marcaba encima de este, las fallas y estructuras encontradas en el mapa como trazos y polígonos. Se guardaban con sus respectivos nombres y con la referencia en APA del artículo de donde eran extraídos en la descripción.

4. Resultados

Las líneas sísmicas analizadas en este artículo son nombradas VE1 a las líneas sin exageración vertical y VE2 a aquellas que tienen una exageración vertical de 2 x. Las líneas sísmicas interpretadas son la SPAN_2004-2000_psdm_ORIG_V1 y la SPAN_2004-4000_psdm_ORIG_V1, siendo esta última de casi el doble de longitud que la primera (Tabla 1). La primera de estas líneas está localizada en la Cuenca Guajira en la parte más septentrional del departamento del mismo nombre, al norte del parque nacional Macuira, en una orientación N-S. La segunda línea sísmica está ubicada entre el Caño La Balza y Sabaneta en una orientación NW-SE (Figura 1). Las líneas de rumbo fueron utilizadas para corroborar la profundidad del basamento por donde cortaban las líneas interpretadas.

4.1 Línea SPAN-2004-4000_psdm_ORIG_VE1

Esta línea sísmica está compuesta por 20 facies sísmicas observadas y 2 que fueron conceptualmente interpretadas (Tabla 2). Se identificó el basamento acústico a una profundidad de 17000 ft en la zona norte, profundizándose hacia el sur mediante dos pliegues ubicados en los shot-points (SP) 1532 y 1738 respectivamente (Figura 5). Luego fue proyectado siguiendo la última inclinación observada hasta una profundidad de casi 58000 ft.

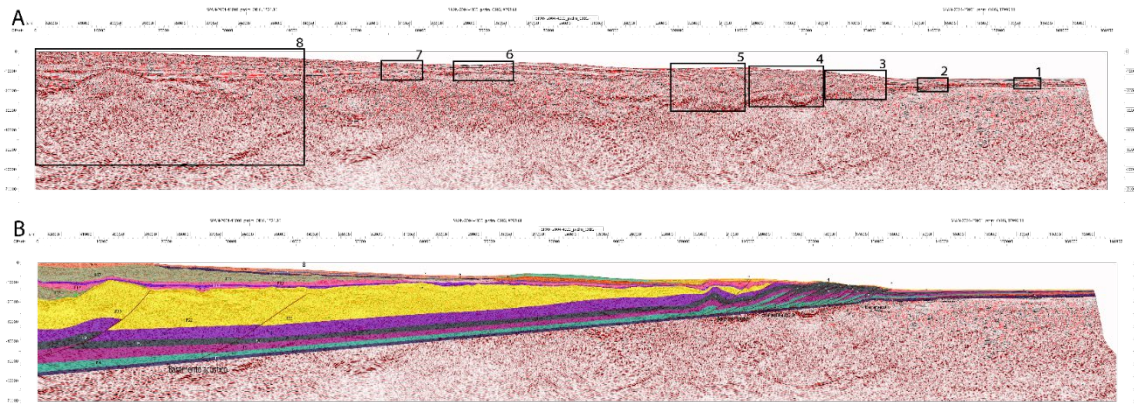


Figura 3: Línea SPAN 2004-4000 psdm ORIG VE1. A) Línea sísmica sin interpretar con las zonas de interés enmarcadas en cuadros negros. B) Línea sísmica interpretada.

Desde la zona norte hasta la falla del segundo pliegue del basamento mostrado en la figura 8, se observan secuencias bastante plano-paralelas donde se presentan las facies F1 hasta la F8, donde F3 se acuña hacia el continente (Figura 8) y F4 se acuña en dirección norte (Figura 6). En este segmento F6, F7 y F8 son cortadas por fallas inversas en los *SP* 1353 y 1444 (Figura 7).





Secuencia tetono-estratigráfica	Unidad	Unidades de facies sísmicas	Configuración de reflexión			Otros parámetros de facies sísmicas		
			Geometría de reflexión en límites	Configuración interna principal	Modificador de configuración	Amplitud	Continuidad	Frecuencia
Pre-tectónico		F1		Paralela	Regular	Moderada	Moderadamente continua	Gruesa
		F2	Trunciación estructural	Monticular	Regular	Alta	Moderadamente continua	Gruesa
		F3	Trunciación estructural	Cadótica	<i>Hummocky</i>	Alta	Discontinua	Gruesa
		F4	Trunciación estructural	Cadótica	Uniforme	Baja	Uniforme-variable	Moderada
		F5	Trunciación estructural	Paralela	Regular	Baja	Discontinua	Moderada
		F6	Trunciación estructural	Paralela	Regular	Moderada	Moderadamente continua	Moderada
		F7	Trunciación estructural	Paralela	Regular & Interrumpido	Baja	Moderadamente continua	Moderada
Syn-tectónico								
		F9	Trunciación estructural	Sigmoidea	Retorcido	Moderada	Moderadamente continua	Gruesa
		F10	Trunciación estructural	Divergente	Retorcido	Baja	Moderadamente continua	Moderada
		F11	<i>Downlap</i>	Compleja sigmoidea oblicua	Hummocky	Alta	Discontinua	Gruesa
		F12	<i>Onlap & Downlap</i>	Monticular	Regular	Baja	Discontinua	Moderada
		F13	<i>Toplap</i>	Subparalela	Retorcido	Baja	Continua	Moderada
		F14	<i>Toplap</i>	Divergente	Regular	Alta	Continua	Moderada
		F15	<i>Toplap</i>	Paralela	Regular	Moderada	Moderadamente continua	Estrecha
		F16	<i>Onlap & Downlap</i>	Oblicua	Regular & Interrumpido	Baja	Discontinua	Moderada
		F17	Trucación erosional & <i>Onlap</i>	Monticular	Regular	Moderada	Moderadamente continua	Moderada
		F18	<i>Onlap</i>	Paralela	Regular	Alta	Continua	Moderada
		F21	Conceptual					
		F22	Conceptual					
		F19	<i>Onlap</i>	Paralela	Regular	Moderada	Continua	Estrecha
Post-tectónico		F20		Paralela	Lenticular	Alta	Moderadamente continua	Estrecha
		F8	Trunciación estructural	Sigmoidea	Regular & Interrumpido	Moderada	Moderadamente continua	Moderada

Tabla 2: Características de cada una de las facies y secuencias tecno-estratigráficas de la línea SPAN 2004-4000.

En la tercera zona de interés se puede observar una truncación estructural donde las facies desde la F1 hasta la F7, exceptuando F3 y F1, se estrellan con la primera falla inversa del sistema de cabalgamiento que continua hacia el continente. Este sistema de cabalgamiento está compuesto principalmente por F4, F5 y F9. Es importante aclarar que F6 y F9 tienen el mismo color porque conceptualmente corresponden para mantener la continuidad lateral en la reconstrucción de la sección geológica y sólo se diferencian por la configuración interna principal y el modificador de configuración (Tabla 2). Los primeros dos dúplex tienen a F10 como su última facie depositada antes de ser cubiertos hasta el cuarto dúplex por F8 (Figura 8).

En la cuarta zona de interés se interpreta una continuación de los dúplex mostrados en la figura 8, esta vez con F12 acunándose y haciendo *toplap* en F8 y siendo a su vez cortado por tres pequeñas fallas someras que se mantienen independientes de las fallas del sistema de cabalgamiento (Figura 9). F8 también es cortado por una falla superficial y va aumentando su espesor a medida que se aproxima al continente al igual que F12. Finalmente, aparecen las dos facies teóricas interpretadas F21 y F22 que surgen encima de F9 y se separan por la penúltima falla del sistema de cabalgamiento de esta zona. Esta falla al igual que las dos que le anteceden también logran cortar a F12.

Al finalizar el sistema de cabalgamiento se observa un pliegue forma las características que clasifican a las facies F4, F5 y F9 en pre-tectónicas y la F21 y F22 como sin-tectónicas, al igual que el rango de F11 a F15, dejando a F8 como una secuencia post-tectónica (Figura 10).

Saliendo de estas zonas altamente deformadas, en dirección sur empieza a haber una mayor uniformidad y continuidad con un evidente engrosamiento de F14 y F15 hacia el continente. Estas facies terminan siendo truncadas contra F16, F18 y F19 respectivamente, así como F12 se trunca contra F16 formando un *toplap*. F13 se acuña antes de llegar a F16, F20 hace *onlap* en F15 y F17 se acuña sobre F17 (Figura 11).

También se alcanza a apreciar el punto de acuñamiento de la F20 que es una facies interna de la F19.

La F16 también termina acuñándose nuevamente hacia el continente justo encima de un pequeño relieve producido en la capa (Figura 12) 22. F12 hace toplap en F16 y F17 hace *onlap* en lo que sobresale de F16 que superpone en su última parte a F12. El resto de capas de la F18 hasta la F20 parecen seguir una distribución bastante planoparalela.

Al límite sur de la línea sísmica se observa el máximo engrosamiento de la facies F21 y F22. Además, se identificaron dos fallas con un ángulo muy similar a los que se encuentran en el sistema de cabalgamiento (Figura 13). Desde el sur, la primera falla permite la superposición de las secuencias empujando las capas del dúplex hacia arriba, generando así una deformación significativa en las secuencias suprayacentes. En F11, F12 y F17. Ésta última facies mencionada se encuentra tanto haciendo downlap contra F22 cómo por encima de la F12. también hace onlap contra F22 a ambos lados del sinclinal antes de ser cubiertos por la facies Curiosamente en la parte más superficial se observa el otro extremo del lente F20 y como se acuña F20.

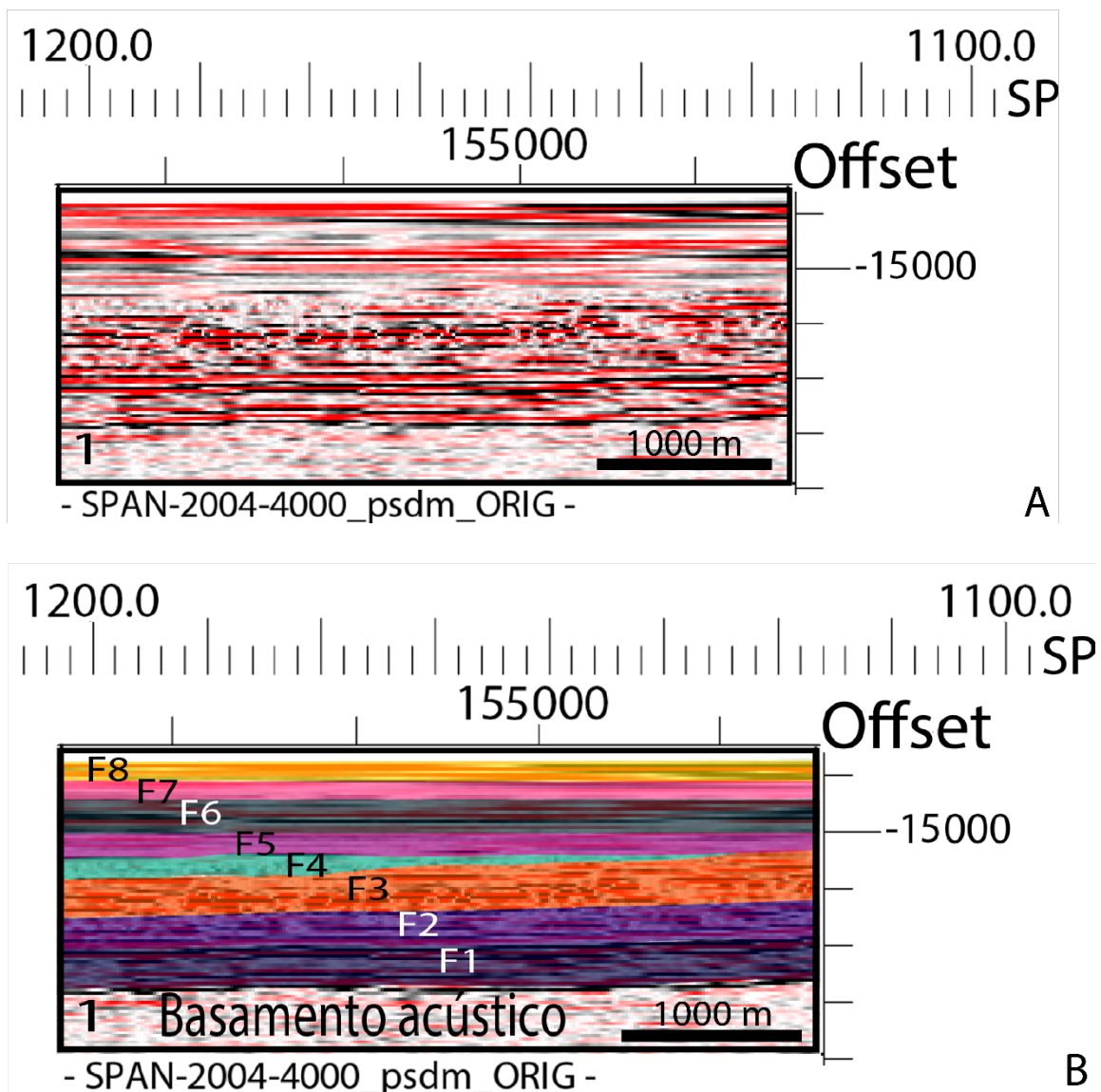


Figura 4: Primera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

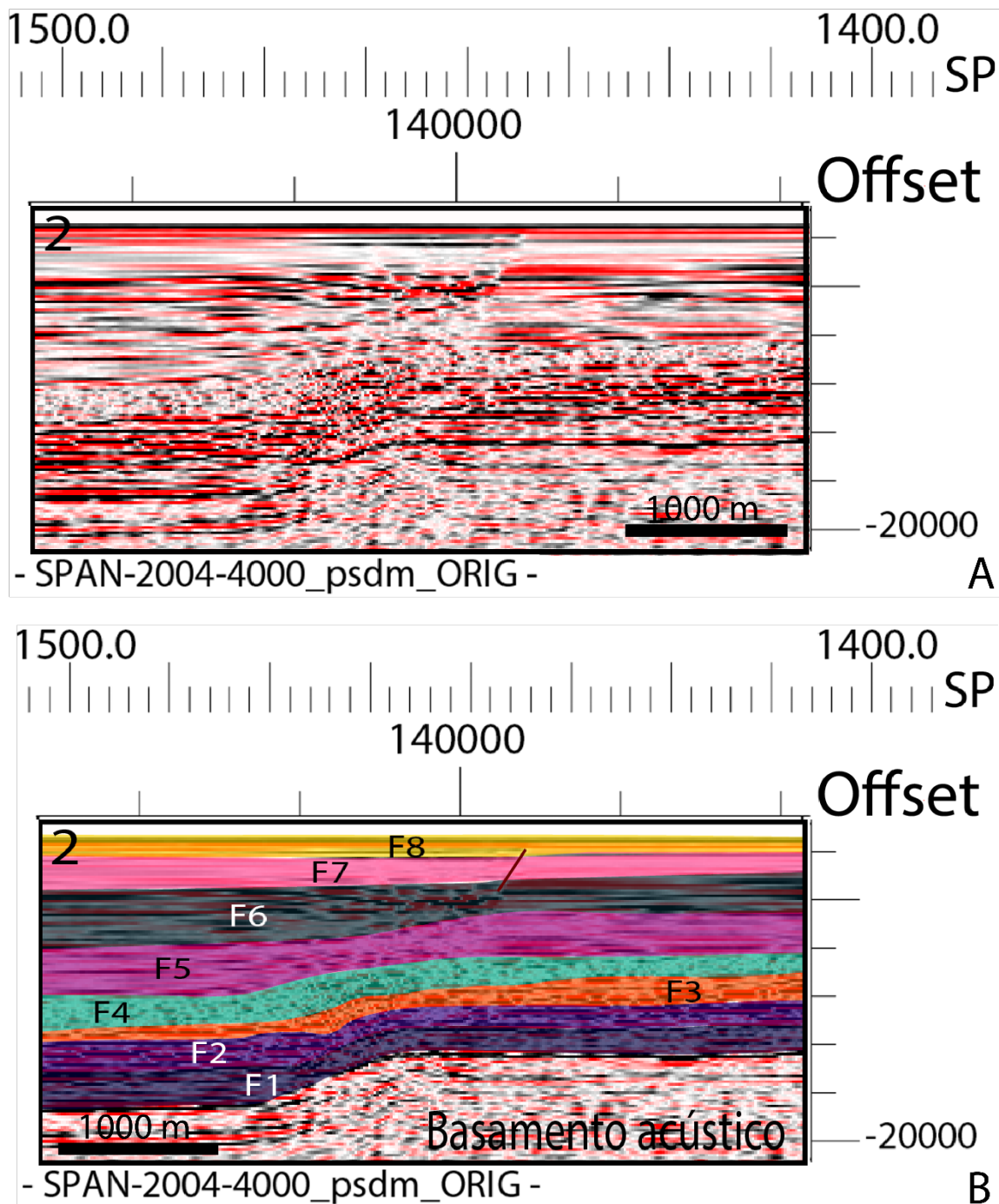


Figura 5: Segunda zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

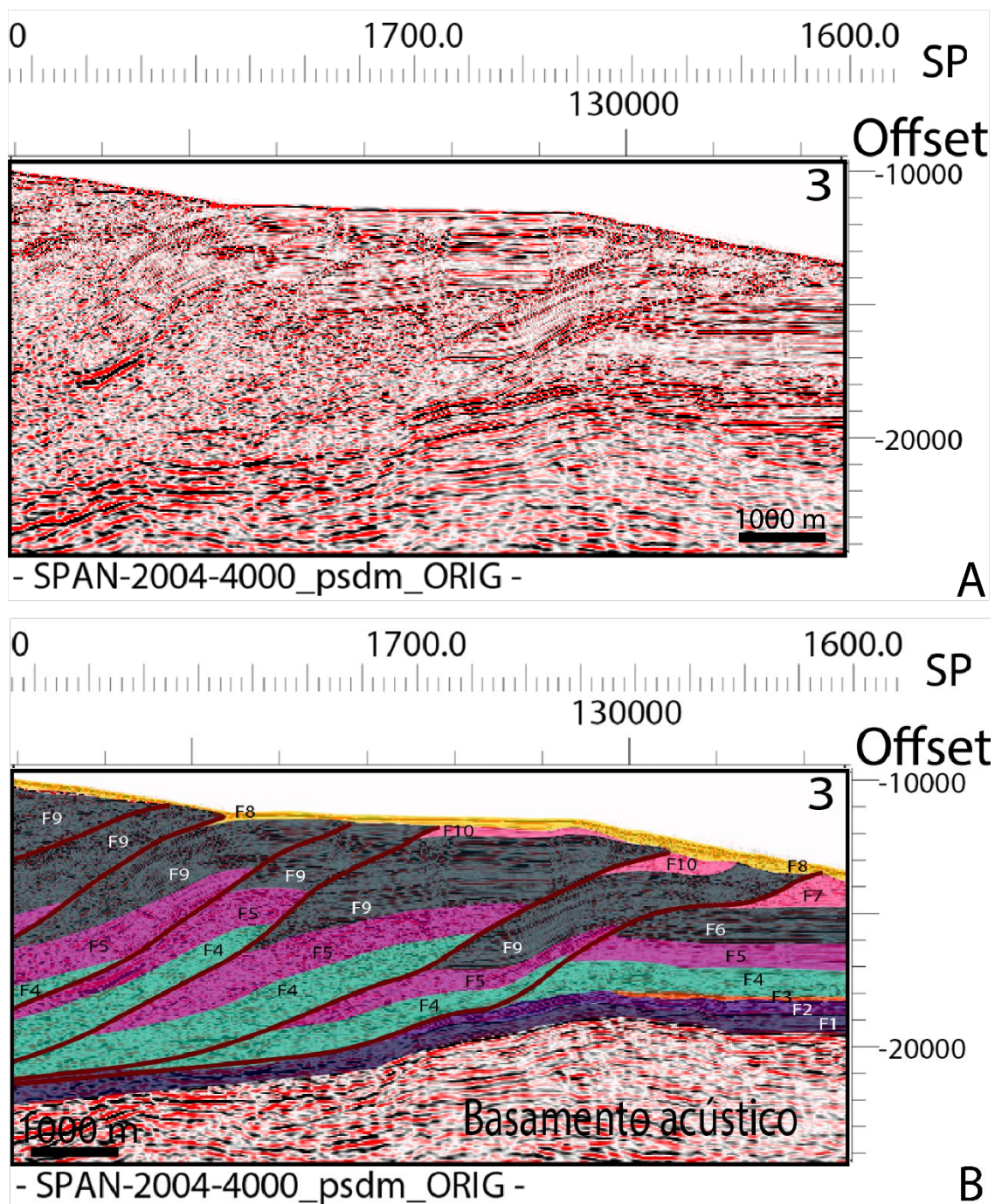


Figura 6: Tercera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

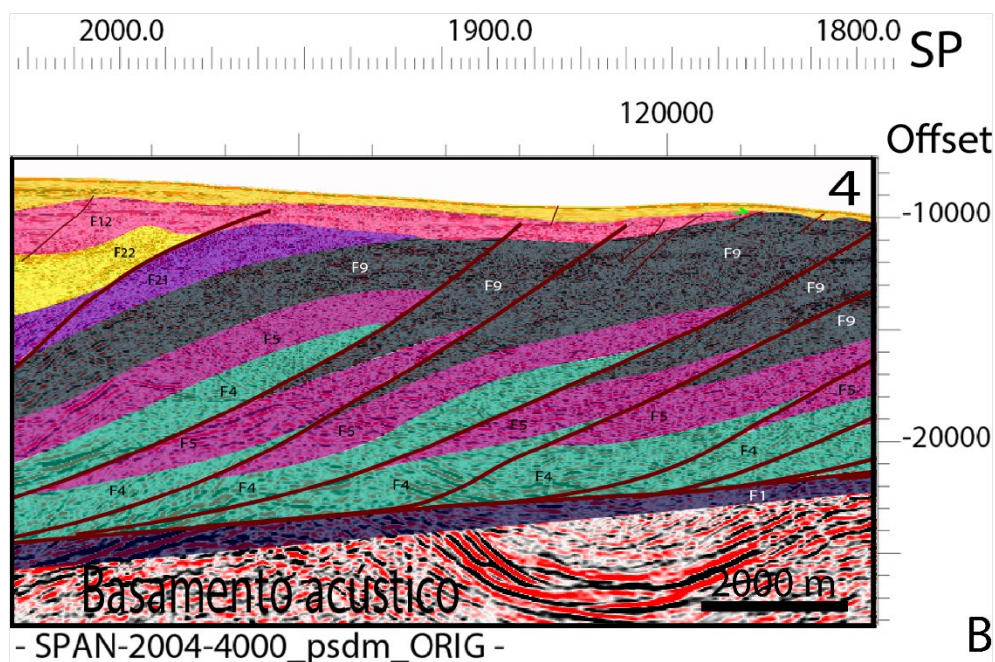
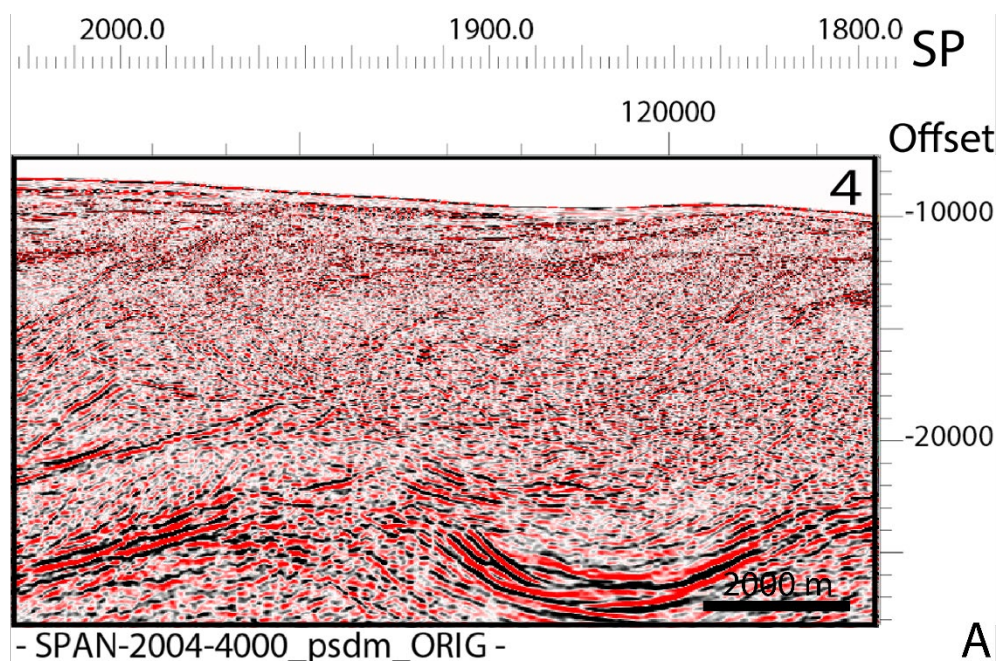


Figura 7: Cuarta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

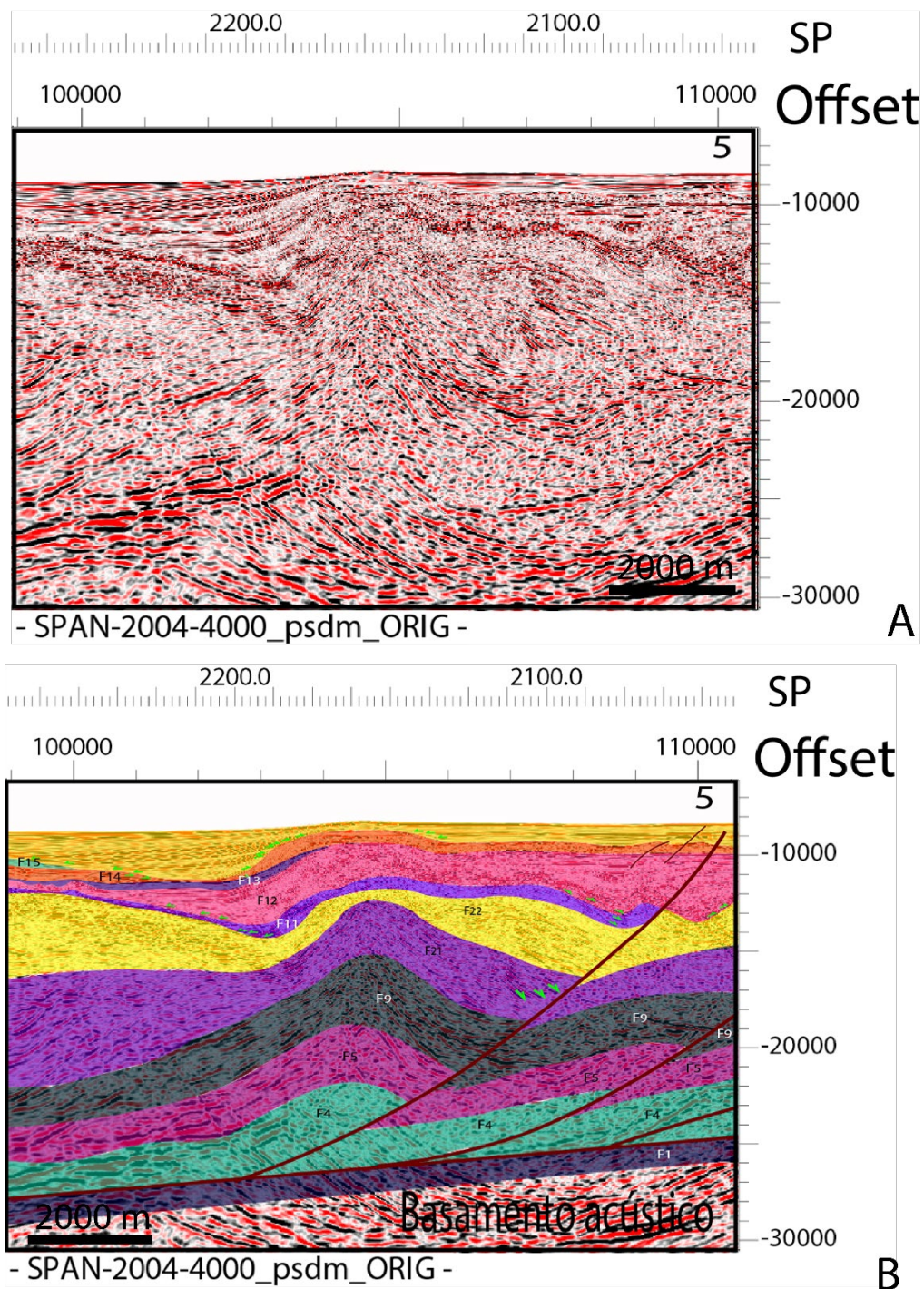


Figura 8: Quinta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

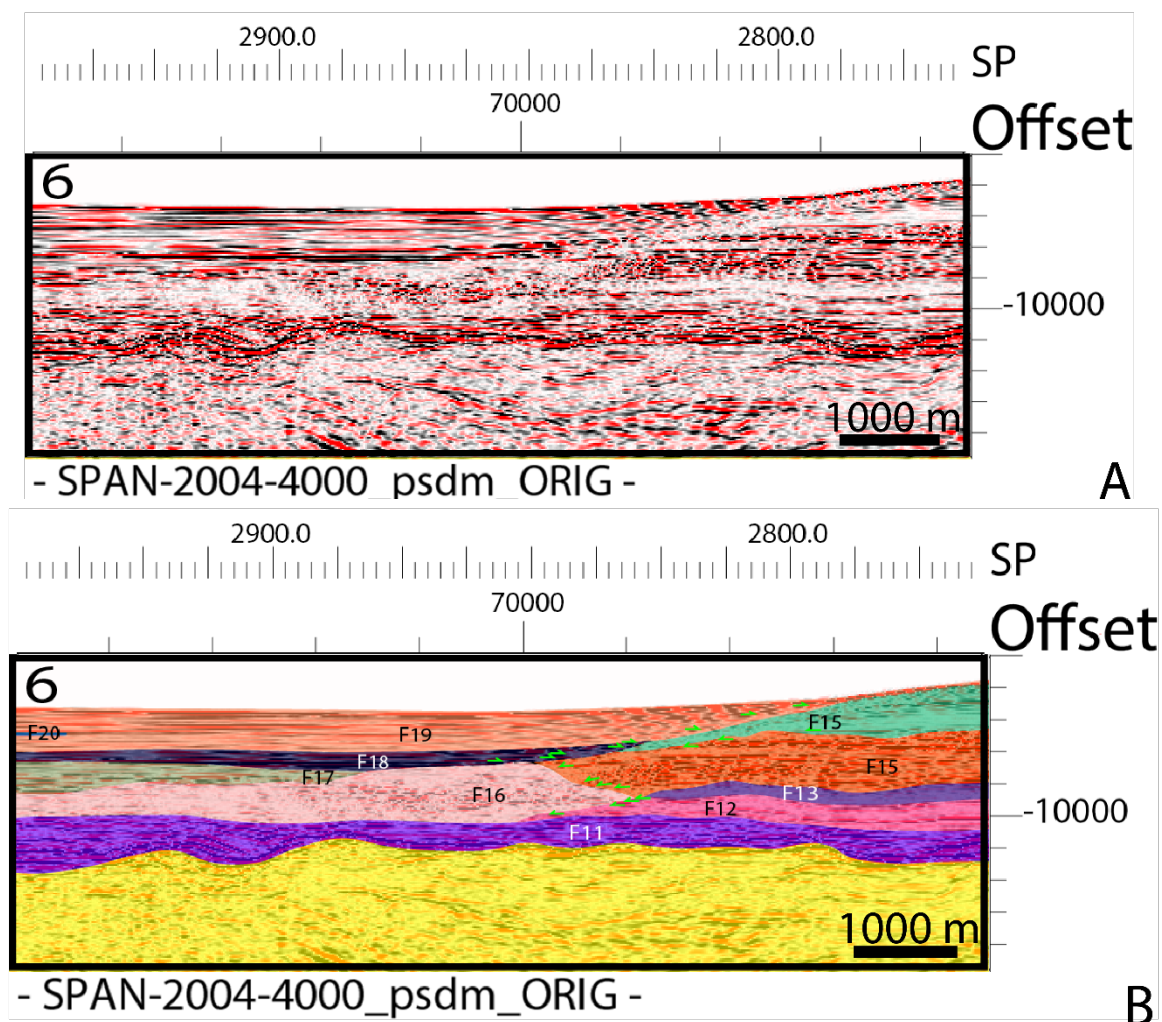


Figura 9: Sexta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

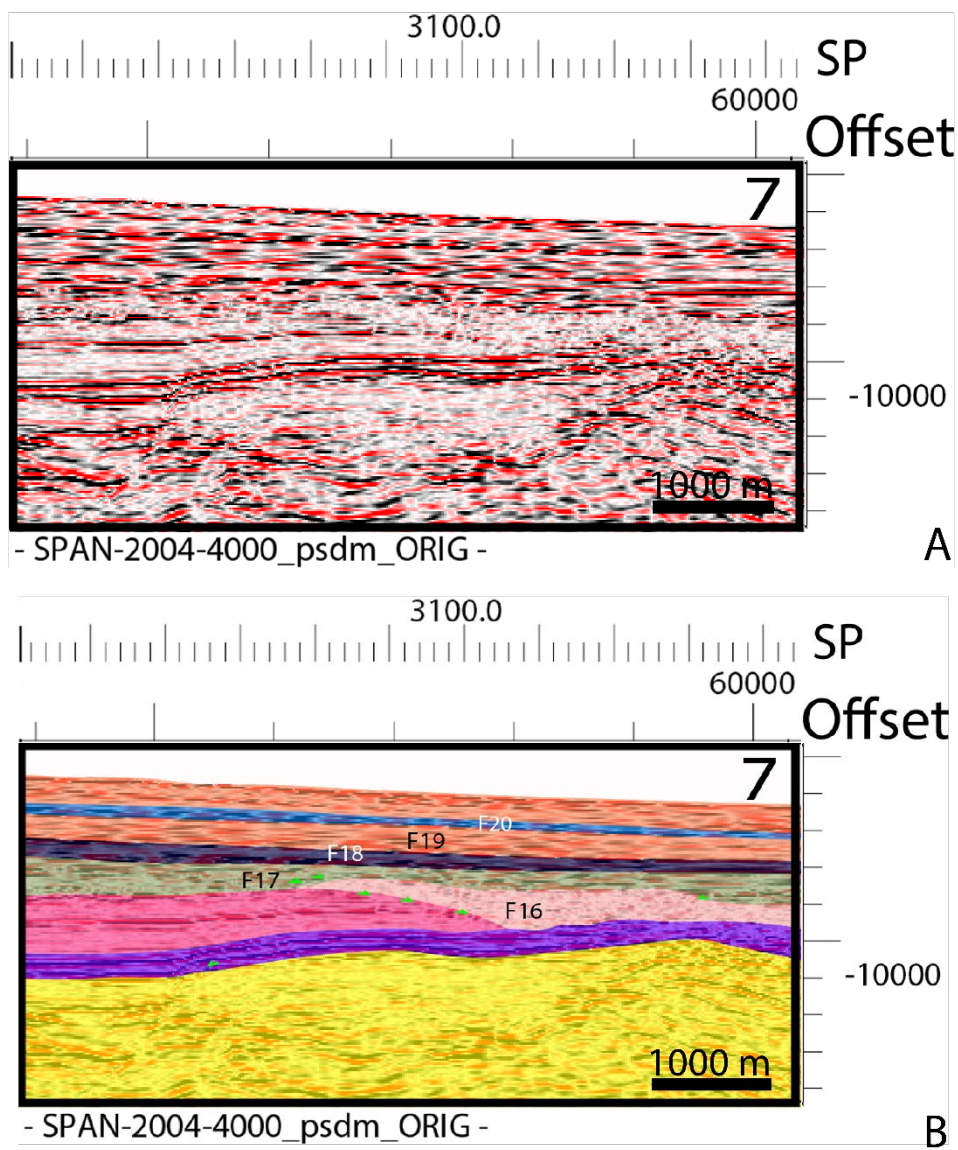


Figura 10: Séptima zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

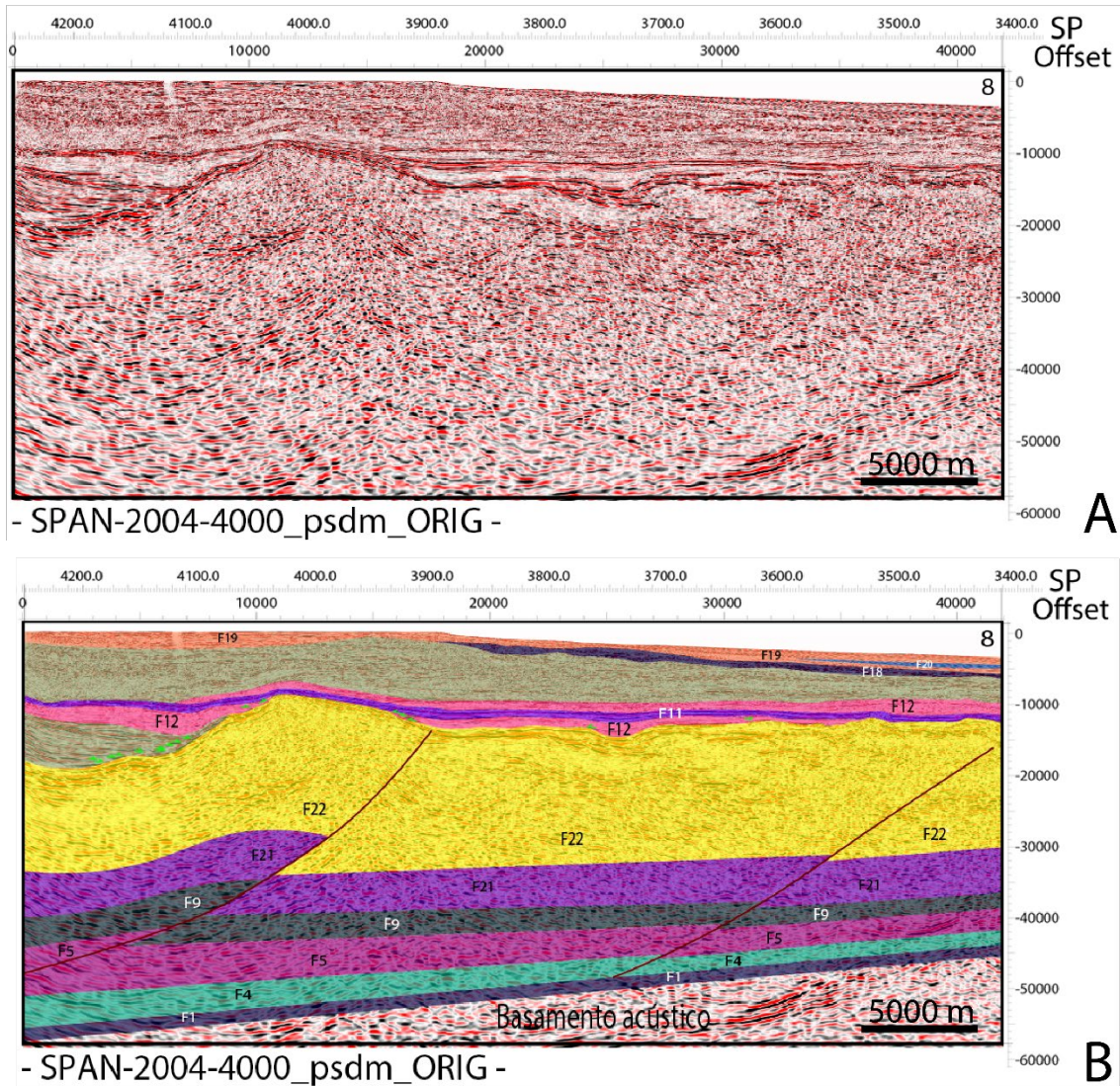


Figura 11: Octava zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada.

4.2 Línea SPAN 2004-2000_psdm_ORIG_VE1

La línea SPAN 2004-2000_psdm_ORIG_VE1 está compuesta por 10 facies observadas y descritas en la tabla 3. Se identificó el basamento acústico a una profundidad de 23700 ft que se profundiza hasta los 33000 ft.

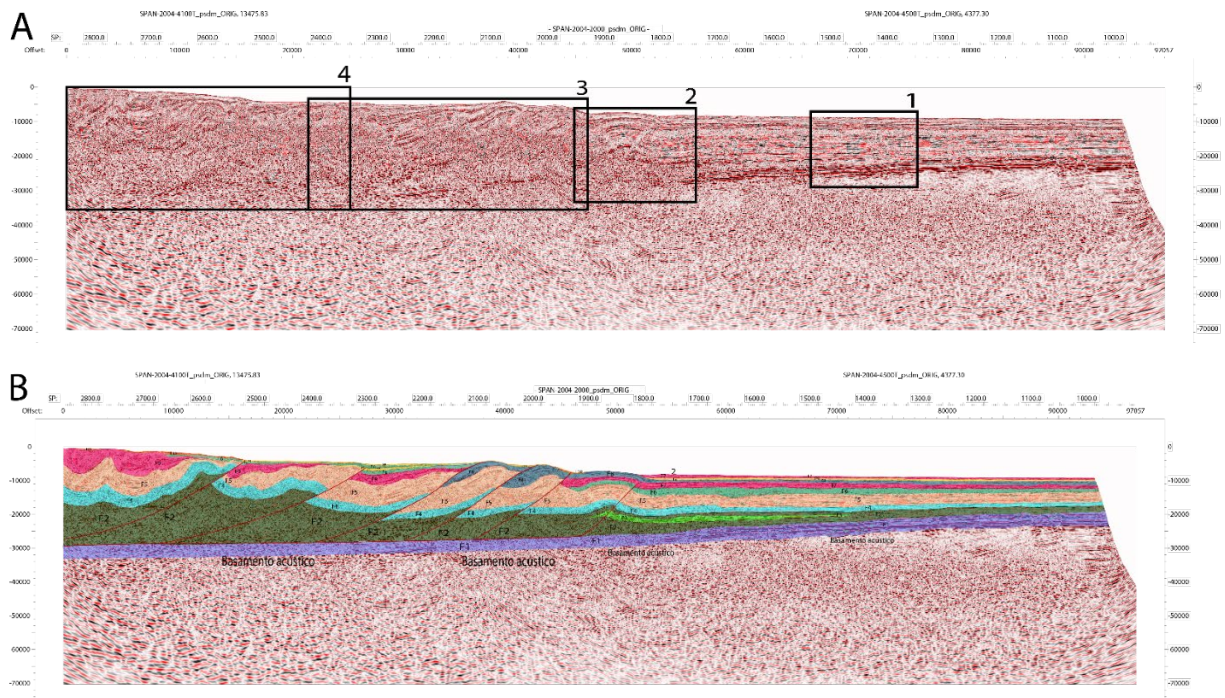


Figura 12: Línea SPAN 2004-2000 psdm ORIG VE1. A) Línea sísmica sin interpretar con las zonas de interés enmarcadas en cuadros negros. B) Línea sísmica interpretada.




Secuencia tectono-estratigráfica	Color	Unidades de secuencias sísmicas	Configuración de reflexión			Otros parámetros de facies sísmicas		
			Geometría de reflexión en límites	Configuración interna principal	Modificador de configuración	Amplitud	Continuidad	Frecuencia
Pre-tectónico		F1		Parallel	Regular	Alta	Continua	Gruesa
		F2	Trunciación estructural	Paralela	Interrumpido	Moderate	Moderadamente continua	Moderate
		F3		Paralela	Lenticular	Alta	Moderadamente continua	Gruesa
		F4	Trunciación estructural	Paralela	Interrumpido	Baja	Discontinua	Moderada
		F5	Trunciación estructural	Paralela	Interrumpido	Moderada	Discontinua	Moderada
Syn-tectónico		F6	Trunciación estructural	Reflección libre	Uniforme	Baja	Uniforme-variable	Moderada
		F7	Trunciación estructural	Paralela	Regular	Alta	Moderadamente continua	Moderada
		F8	Trunciación estructural	Paralela	Interrumpido	Moderada	Discontinua	Estrecha
Post-tectónico		F9		Paralela	Uniforme	Moderada	Discontinua	Estrecha
		F10	Trunciación estructural	Subparalela & D	Regular	Alta	Continua	Moderada

Tabla 3: Características de cada una de las facies y secuencias tecno-estratigráficas de la línea SPAN 2004-2000.

Describiendo de NW a SE se puede observar que todas las capas desde F1 hasta F9 mantienen una configuración plano-paralela hasta el SP 1827 y F3 se acuña dentro-balgamiento (Figura 11).

En la segunda zona de interés se tiene la primera falla del sistema de cabalgamiento y el comienzo de la segunda. Se observa el otro extremo acrecionado de F3 que alcanza a plegarse y fracturarse un poco por la falla. Esta primera falla corta desde la unidad de facies sísmicas F2 hasta la F7. Por otra parte, la segunda falla se observa cortando hasta F10 sin llegar a tocar a F6 ni F3 que alcanzaron a acuñar antes. El pliegue exhibe onlaps en la parte superior de las secuencias hacia el NW (Figura 12) y downlaps en el flanco SE. La facie sísmica F7 queda descontinuada para los siguientes dos dúplex al igual que F6.

Los dúplex están formados principalmente por la continuación de las facies F2, F4, F5 y F8. Vuelve F9 y esta vez se deposita en la parte más superficial de la secuencia rellenando el sinclinal formado entre los dos dúplex (Figura 13). Al aproximarse más al continente regresa F9 inclusive dentro de F6 y en la parte superficial. También se evidencia el engrosamiento de F9 en el tercer y cuarto dúplex.

En la cuarta zona de interés se observa las mismas facies con tres pliegues seguidos después del último dúplex por un pliegue acompañado por un sinclinal además con gran desplazamiento de F2 y por ende de todas las facies a través de la falla inversa de cabalgamiento (Figura 14). En la parte más superficial se observa F6 acrecionado hacia el continente contra F9. Tanto F9 como F5 presentan una gran cantidad de terminaciones internas.

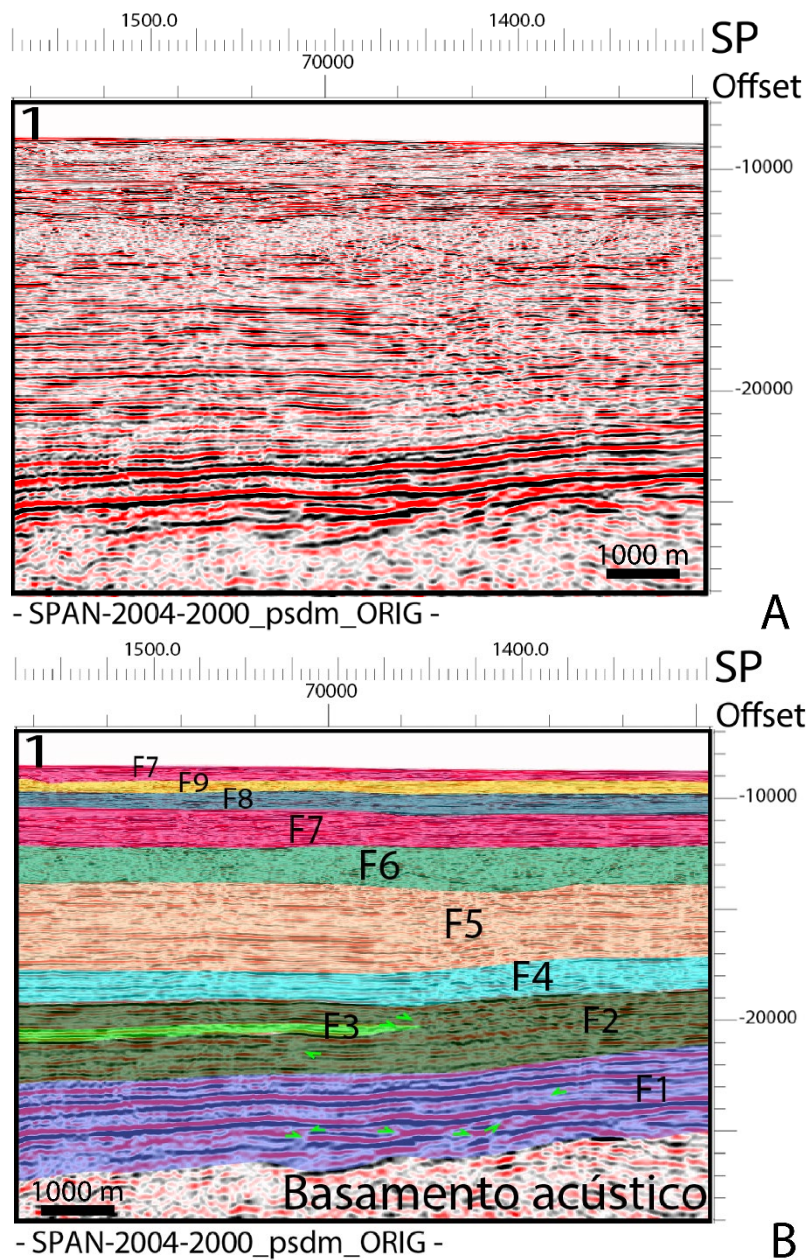


Figura 13: Primera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada

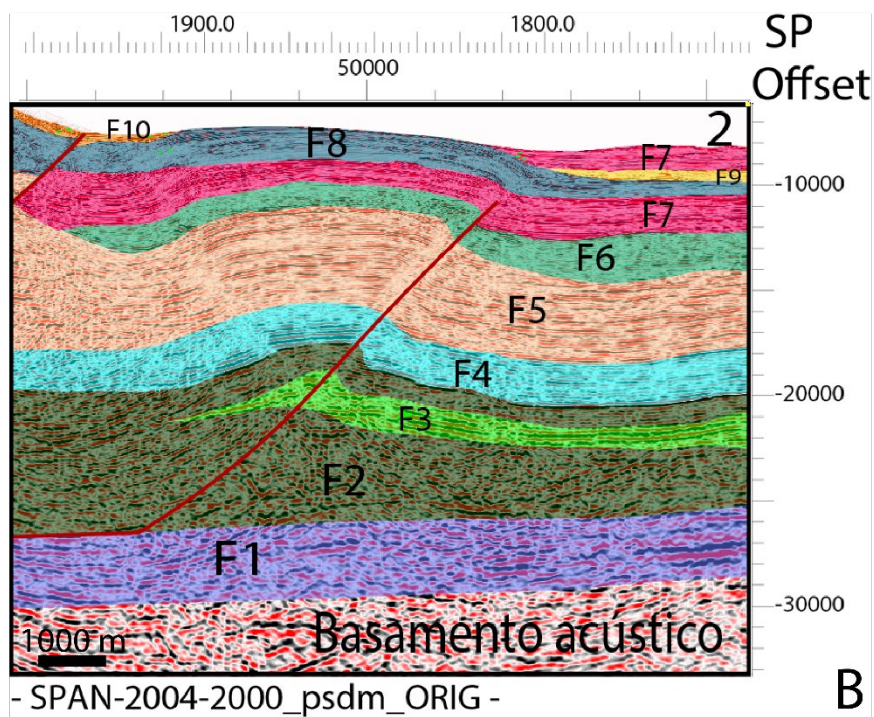
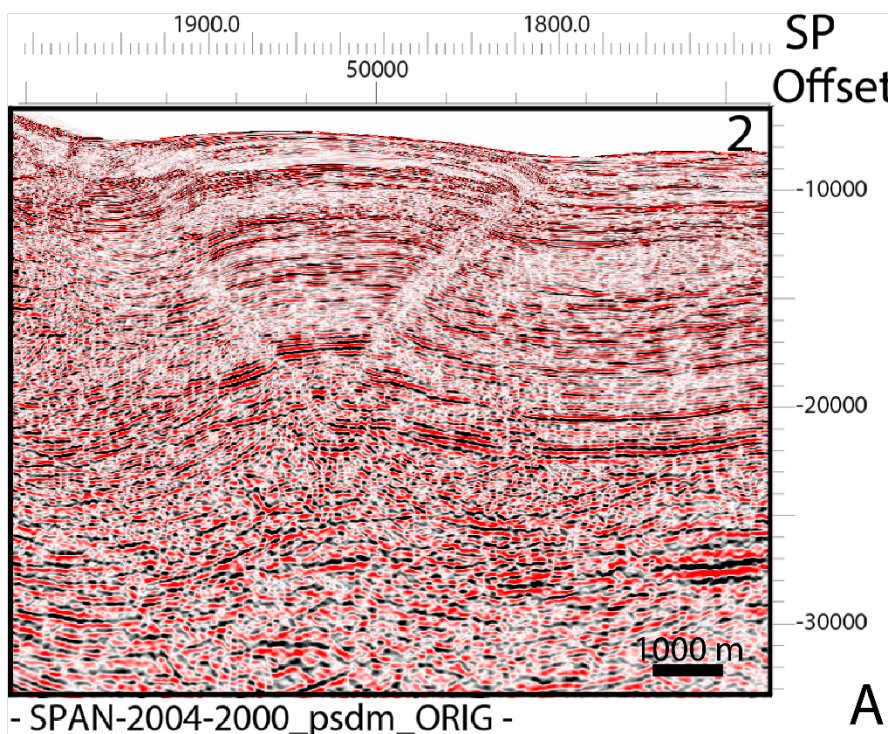


Figura 14: Segunda zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada

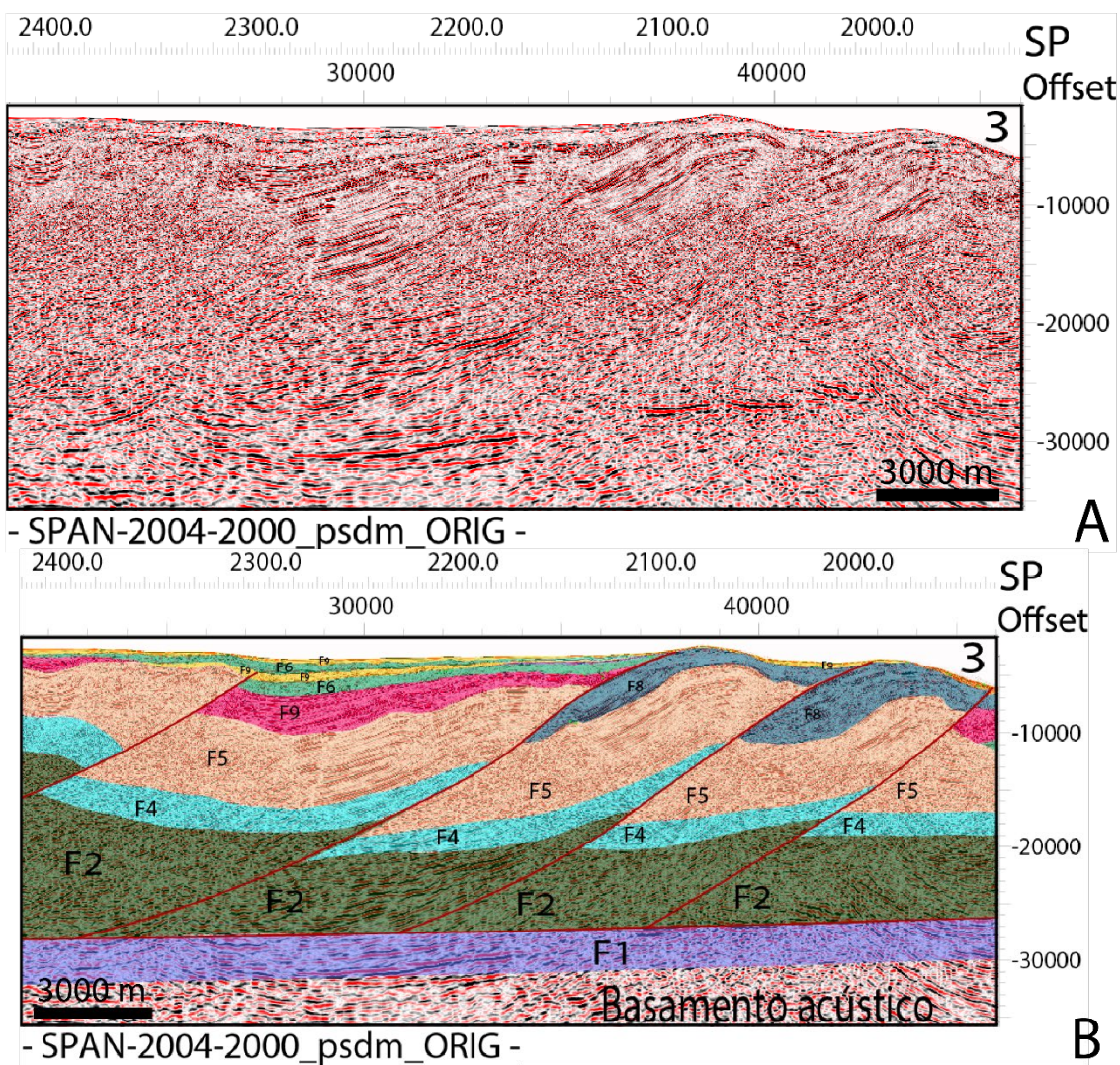


Figura 15: Tercera zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada

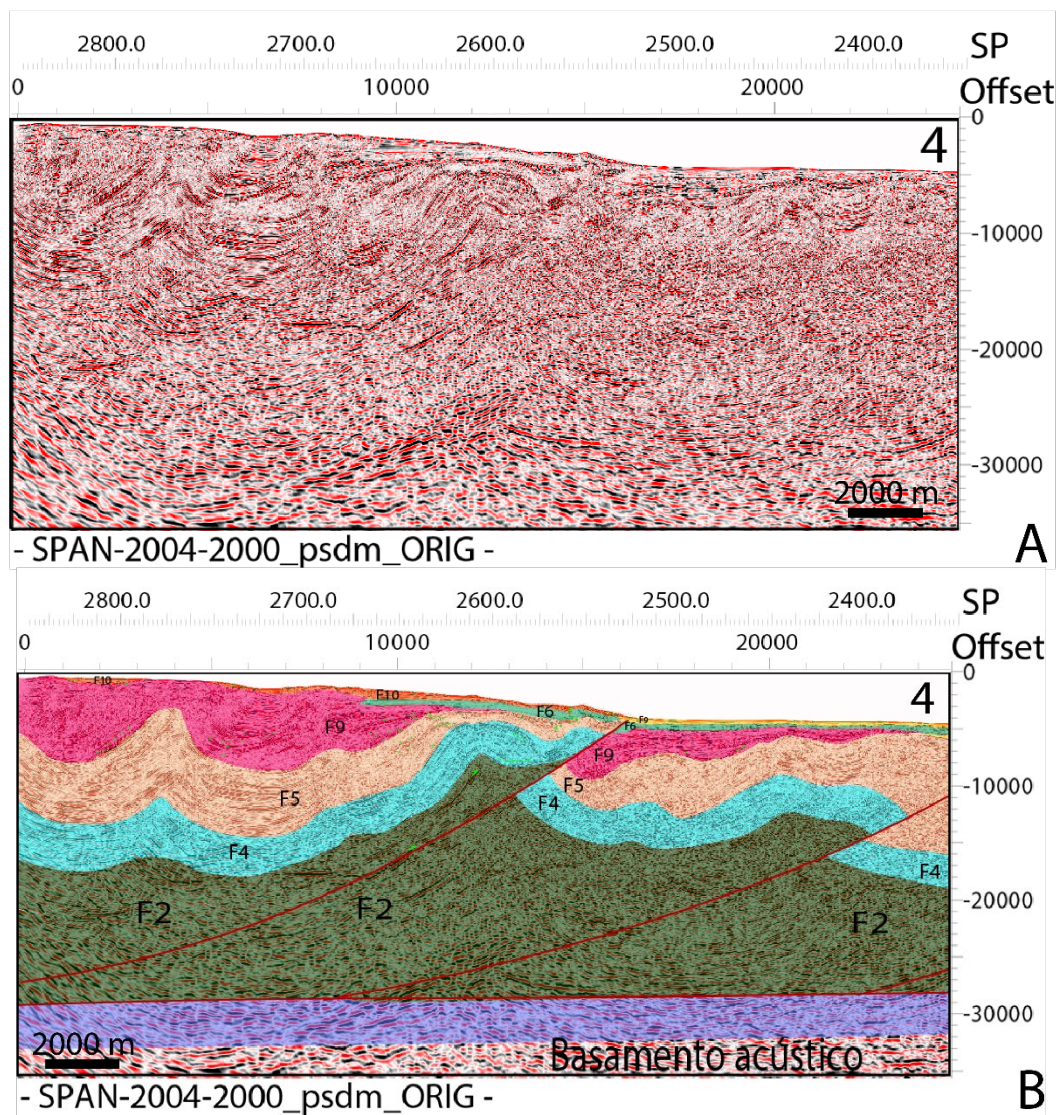


Figura 16: Cuarta zona de interés. A) Línea sísmica sin interpretar; B) Línea sísmica interpretada

5. Discusión

En base a los resultados obtenidos puede afirmar que los objetivos fueron cumplidos parcialmente. El mapa alcanzó un buen nivel de detalle a la fecha, aún puede ser nutrido con una mayor cantidad bibliografía revisada y confiable. Las líneas sísmicas lograron ser analizadas con buen detalle. Algunas de las limitaciones encontradas durante la interpretación de las líneas sísmicas es la baja calidad de la reflexión, los artefactos geosísmicos (sombras de falla, smiles, multiples, capas de hidratos entre otros) y zonas de reflexión caótica, uniforme o muy distorsionada que dejan muchos vacíos en la información. Estos fueron rellenados conceptualmente (o no fueron tomados en cuenta), teniendo en cuenta la información disponible. En cuanto a la elaboración del mapa, la ausencia o imprecisión de coordenadas en los mapas georreferenciados, sólo dejan la opción de acomodar manualmente el mapa sobre el programa, quitándole precisión a los datos obtenidos de dichos mapas. Además, aún quedan muchas zonas del Caribe Colombiano que faltan cartografiar con una metodología válida para lograr tener un reconocimiento completo y un solo mapa que recopile toda esa información.

En cuanto a la validez de los resultados para el análisis del subsuelo hubiera sido mejor tener enfocarse en una sola área o cuenca o realizar un análisis de mucha más información para contrastarla y resumirla, para identificar mejor los detalles distintivos y las similitudes, así como para tener la oportunidad de realizar paleo-mapas con la integración de los ambientes interpretados en las facies. Sin embargo, esto no desvalida los resultados

de cada línea que son tomadas como representativas de cada cuenca, pues permiten dar una idea de lo que se encuentra bajo la superficie de cada una de estas. Además, las líneas de rumbo también fueron de ayuda y soporte para dar una mejor interpretación a las líneas aquí presentadas.

La interpretación de la línea SPAN-2004-4000_psdm_ORIG_VE1, muestra un sistema de cabalgamiento que exhibe un acortamiento hacia al N lo que es concordante con la información presentada en el artículo de Aguilera (2011), donde menciona el desarrollo de un sistema de fallas imbricadas pertenecientes al SCDB cercanas al depocentro de la depresión Tairona. De la misma forma, la línea SPAN-2004-2000_psdm_ORIG_VE1 es congruente con el tren de estructura general N20°E, caracterizado por anticlinales y sinclinales apretados y alargados, separados por fallas inversas de cabalgamiento paralelas al rumbo regional descrito por Duque-Caro (1980). Por lo tanto, el estilo estructural mostrado por el movimiento de las capas tectónicas y los resultados mostrados por la sísmica en congruencia con la literatura, el estilo estructural es principalmente en dúplex.

6. Conclusión

El propósito de este trabajo de determinar un estilo estructural para todo el margen Costa afuera del Caribe colombiano, fue limitado debido a la verdadera cantidad de información necesaria para dar una hipótesis concluyente. De todas formas, se sabe que el margen costa afuera del Caribe colombiano se encuentra dominado principalmente por sistemas compresionales y de acreción hacia el sur oeste (Cuenca Sinú – San Jacinto) y por sistemas de transpresión- transtensión hacia la zona norte (Cuenca Guajira). Sin embargo, en la zona más septentrional de Guajira superior guarda similitudes estructurales con la cuenca Sinú – San Jacinto. Estas líneas sísmicas se considera que tienen un estilo estructural predominantemente en dúplex. Esto debido a la predominancia de la deformación de las capas plegadas formando anticlinales y sinclinales estrechos, divididos por fallas inversas de cabalgamiento. Siendo más estrechas en la parte más septentrional de la cuenca Guajira por la influencia del SCDB. También se observó de manera frecuente el fenómeno de diapirismo de lodo y soldadura de capas en forma de anticlinales con vértices prominentes. Siendo este un fenómeno que necesita de un sobre-presionamiento, ya sea por sobre carga o compresión de las capas fluidas lodosas para generar las cámaras diapíricas, las soldaduras, los volcanes, oídos y coladas de lodo (Vernette, 1972).

Este análisis se plantea debido al análisis de dos líneas sísmicas, una ubicadas en la cuenca Guajira y la otra en la cuenca Sinú – San Jacinto (Figura 1). La información obtenida

del análisis y la interpretación de las líneas sísmicas fue complementada con la elaboración de un mapa geológico estructural realizado a partir de una recopilación bibliográfica de artículos con cartografía propia. De esta forma, en base a los resultados y a la distribución de fallas y pliegues del mapa realizado en este trabajo se puede determinar que el margen costa afuera del Caribe colombiano se encuentra dominado por sistemas compresionales con cambios relativos generados por la diferencia en el ángulo de acción de las fallas principales y el movimiento, ángulo y dirección entre las placas Caribe y Sudamericana.

7. Referencias

- Aguilera, R. (2011). Geology and Hydrocarbon Potential Guajira and Cayos Basins (pp. 19- 47). Recuperado el 1 de octubre del 2020.
- Aristizábal, C., Ferrari, A., & Silva, C. (2009). Control neotectónico del diapirismo de lodo en la región de Cartagena, Colombia. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 8(1), 42-50.
- Bartok, P., Mejia-Hernandez, M. C., & Ismael, M. (2015). Paleogeographic constraints on Middle-to Late-Jurassic tectonic reconstruction of the Maya Block of southern Mexico and equivalent strata of northwestern South America.
- Bayona, G., Ochoa, F. L., Cardona, A., Jaramillo, C., Montes, C., & Tchegliakova, N. (2007). Procesos orogénicos del Paleoceno para la cuenca de Ranchería (Guajira, Colombia) y áreas adyacentes definidos por análisis de procedencia. *Geología Colombiana*, 32, 21-46.
- Benkovics, L., & Asensio, A. (2015). New evidences of an active strike-slip fault system in northern Venezuela, near offshore Perla field.
- Bernal-Olaya, R., Mann, P., & Escalona, A. (2015). Cenozoic tectonostratigraphic evolution of the Lower Magdalena Basin, Colombia: An example of an under-to overfilled forearc basin.
- Bernal-Olaya, R., Sanchez, J., Mann, P., & Murphy, M. (2015). Along-strike crustal thickness variations of the subducting Caribbean plate produces two distinctive styles of thrusting in the offshore South Caribbean deformed belt, Colombia
- Caro, H. D. (1980). Geotécnica y evolución de la región noroccidental colombiana. *Boletín geológico*, 23(3), 4-37.
- Caro, H. D. (1984). Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia. *Boletín Geológico*, 27(2), 2-29.
- Carvajal JH (2001). Amenazas geológicas asociadas al volcanismo de lodos. Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geología. CD aparte de Volcanes. 15 páginas. Manizales.

- Duque Caro, H. (1980). Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana En: Boletín geológico del INGEOMINAS Vol. 23 N 3. Santa Fe de Bogota, Colombia.
- Escalante, C. E. (2006). Seismic Stratigraphy of the Tayrona Depression-Offshore Baja Guajira Basin, Colombia.
- Escalona, A., & Mann, P. (2006). Tectonic controls of the right-lateral Burro Negro tear fault on Paleogene structure and stratigraphy, northeastern Maracaibo Basin. AAPG bulletin, 90(4), 479-504.
- Escalona, A., & Mann, P. (2011). Tectonics, basin subsidence mechanisms, and paleogeography of the Caribbean-South American plate boundary zone. Marine and Petroleum Geology, 28(1), 8-39.
- Flinch, J. F., Amaral, J., Doulcet, A., Mouly, B., Osorio, C., & Pince, J. M. (2003). Onshore-offshore structure of the northern Colombia accretionary complex. American Association of Petroleum Geologists, Search and Discovery article 90017.
- Flinch, J. F., Grand, M. V., & Casero, P. (2000). Accretion and obduction along the Sinú-Lower Magdalena area (Northern Colombia).
- Flinch, Joan & Amaral, J & Doulcet°, A & Mouly, Benoit & Osorio, C & Pince°, J. (2003). Structure of the Offshore Sinu Accretionary Wedge. Northern Colombia.
- Galeano, J. (2020). Cartografía geológica de las unidades Neógenas del Noreste del cinturón plegado de San Jacinto, Colombia. (Pregrado Geología). Universidad del norte.
- Guzman, G. (2007) Stratigraphy and Sedimentary Environment and Implications in the Plato Basin and the San Jacinto Belt Northwestern Colombia. Doctoral Thesis, University of Liege. Figure 11, pg 44.
- Guzmán, G., Gómez, E., & Serrano, B. (2004). Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena-Caribe Colombiano. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá.
- Irving, E. (1972). Mapa geológico de la península de la Guajira (Compilación) Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas-Mineras. *US Geological Survey. Mapa Geológico.*
- Londono, J., & Schiek, C. (2015). Basement architecture of the southern Caribbean basin, Guajira offshore, Colombia.
- Mantilla, O., Castellanos, J., Ramirez, V., Hurtado, D., & Rubio, C. PS Tectono-Stratigraphic Events of the Northern Caribbean Offshore, Colombia.
- Mantilla-Pimiento, A. M., Jentzsch, G., Kley, J., & Alfonso-Pava, C. (2009). Configuration of the Colombian Caribbean Margin: Constraints from 2D seismic

- reflection data and potential fields interpretation. In Subduction zone geodynamics (pp. 247-272). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Marín, J. P., Bermúdez, H. D., Aguilera, R., Jaramillo, J. M., Rodríguez, J. V., Ruiz, E. C., & Cerón, M. R. (2010). Evaluación geológica y prospectividad sector Sinú-Urabá. *Boletín de geología*, 32(1).
- Montes, C., Guzman, G., Bayona, G., Cardona, A., Valencia, V., & Jaramillo, C. (2010). Clockwise rotation of the Santa Marta massif and simultaneous Paleogene to Neogene deformation of the Plato-San Jorge and Cesar-Ranchería basins. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(4), 832-848.
- Moreno, F., Hendy, A. J. W., Quiroz, L., Hoyos, N., Jones, D. S., Zapata, V., ... & Carrillo-Briceño, J. D. (2015). Revised stratigraphy of Neogene strata in the Cocinetas basin, La Guajira, Colombia. *Swiss Journal of Palaeontology*, 134(1), 5-43.
- Pindell, J. L., & Kennan, L. (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update. *Geological Society, London, Special Publications*, 328(1), 1-55.
- Piraquive Bermúdez, A. (2016). Structural Framework, deformation and exhumation of the Santa Marta Schists: accretion and deformational history of a Caribbean Terrane at the north of the Sierra Nevada de Santa Marta. *Geología*.
- Rollins, J. F. (1965). Stratigraphy and structure of the Goajira Peninsula, northwestern Venezuela and Northeastern Colombia.
- Romero Otero, G. A. (2009). Deepwater sedimentary processes in an active margin, Magdalena submarine fan, offshore Colombia.
- Rubiano, J. (1998). Evaluación Regional cuenca Baja Guajira: Informe Interno ECOPETROL.
- Sarmiento, A. M., Villamil, T., & Sarmiento, G. (2019). Stratigraphic analysis of the Bahia intraslope basin, offshore northern Colombia. *AGUFM*, 2019, T21E-0348.
- Sarmiento-Orjuela, A. M. (2019). Stratigraphic Analysis of the Bahia Intraslope Basin, Offshore Northern Colombia (Doctoral dissertation, University of Colorado at Boulder).
- Summesberger, H. (1983). Ammonite zonation of the Gosau Group (Upper Cretaceous, Austria). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie*, 145-166.
- Vence, E. M. (2008). Subsurface structure, stratigraphy, and regional tectonic controls of the Guajira margin of northern Colombia (Doctoral dissertation, University of Texas at Austin).

- Vence, E., & Mann, P. (2020). Subsurface basement, structure, stratigraphy, and timing of regional tectonic events affecting the Guajira margin of northern Colombia. *Interpretation*, 8(4), 1-127.
- Vernette, G., Mauffret, A., Bobier, C., Briceno, L., & Gayet, J. (1992). Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*, 202(2-4), 335-349